



Савицький В. В. [1; ORCID ID: 0000-0001-8807-9486],

к.т.н., доцент,

Савицька О. В. [1; ORCID ID: 0000-0002-5806-7473],

к.е.н., доцент

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПРИ ПОВТОРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Описано результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану збірно-монолітних нерозрізних залізобетонних балок з ненапруженими та попередньо напруженими стиками за дії повторних (малоциклових) навантажень різних рівнів. Розкрито питання впливу попереднього напруження стиків на роботу балок. Встановлено вплив довантаження понад експлуатаційний рівень на деформації арматури і бетону.

Ключові слова: бетон; арматура; навантаження; балка; повторне.

Вступ. Залізобетонні нерозрізні збірно-монолітні балки широко використовуються як ригелі в складі плоских перекриттів та покриттів виробничих та цивільних будівель, спеціальних інженерних споруд, в склепінчастих і купольних ребристих перекриттях при великих навантаженнях, в підземних спорудах, а також як багатопролітні підкранові балки [1, С. 32]. На перекриття виробничих, громадських, житлових будівель, спеціальних споруд, до складу яких входять збірно-монолітні нерозрізні залізобетонні балки, здебільшого діють малоциклові повторні тимчасові навантаження, які можна розділити на повторні тривалі й повторні короткочасні [2, С. 21].

Аналіз останніх досліджень. Автор [1, С. 49] досліджував вплив розподілу арматури на властивості двопротітних нерозрізних балок. За результатами проведених досліджень автор [1, С. 51] зробив висновок, що прогини нерозрізних залізобетонних балок з ненапруженою і попередньо напруженою арматурою при зміні розподілу опорної і прольотної арматури в межах 0,4–3 в експлуатаційних стадіях роботи змінюються несуттєво (до 15%). Автором [3, С. 58] наведені результати дослідження перерозподілу

зусиль в нерозрізних залізобетонних попередньо напружених балках збірної конструкції. Автор [3, С. 66] зазначає: після того, як діючі моменти досягнуть величини, приблизно рівної 75–80% своїх граничних значень, графіки дослідних моментів починають прагнути до граничних значень моментів, що визначаються армуванням. Автором [4, С. 19] були проведені експериментальні дослідження збірних попередньо напружених балок. За результатами досліджень автором [4, С. 25] були зроблені такі висновки: розрахунок несучої здатності збірних балок може виконуватись з урахуванням повного перерозподілу зусиль способом вирівнювання моментів у середньому прольоті і на проміжних опорах. Автор [5, С. 94] зазначає, що в збірних залізобетонних нерозрізних балках регулювання зусиль може виконуватись за допомогою натягу арматури стиків, найбільш ефективними та індустріальними є стики з прямолінійною арматурою, що напружується електротермічним методом.

Постановка мети і задач досліджень. Мета роботи: встановити особливості напружено-деформованого стану збірно-монолітних нерозрізних залізобетонних балок при дії повторних (малоциклових) навантажень. Для реалізації мети поставлено вирішити такі задачі: встановити особливості напружено-деформованого стану збірно-монолітних залізобетонних балок з різними за конструкцією стиками при дії повторних навантажень; встановити вплив попереднього напруження арматури стиків балок на їх напружено-деформований стан.

Методика досліджень. Для досягнення поставленої мети виконано три серії експериментальних досліджень роботи двопролітних нерозрізних збірно-монолітних залізобетонних балок.

Передбачалось вивчити питання роботи нерозрізних збірно-монолітних залізобетонних балок при малоциклових статичних навантаженнях середніх та високих рівнів залежно від верхнього рівня напруження, наявності та типу стику і кількості циклів навантажень.

Всього було виготовлено 12 двопролітних балок з розмірами поперечного перерізу 10x16 см і довжиною 300 см (рис. 1, 2).

Результати досліджень. В балці **1Б-1**, яка випробовувалась одноразовим ступеневим навантаженням до руйнування, величини деформацій опорної і пролітної арматури на перших ступенях навантаження змінювались практично прямо пропорційно значенням прикладеного навантаження. Але незначні відхилення від пружної роботи арматурної сталі все ж таки спостерігаються. Ці



тенденції значно посилились на останніх ступенях навантаження, коли через перерозподіл зусиль зближуються значення деформацій опорної та пролітної арматури, а на останніх трьох ступенях навантаження величини деформацій опорної арматури були меншими за відповідні значення для пролітної арматури, при цьому крива деформацій пролітної арматури мала значний нахил до осі деформацій, що свідчить про збільшення приросту. Бетон у стиснутій зоні прольотного перерізу на перших ступенях також працював пружно.



Рис. 1. Конструктивна схема дослідних балок першої серії



Рис. 2. Конструктивна схема дослідних балок другої та третьої серії

У балці **1Б-2**, яка навантажувалась малоцикловим навантаженням на рівні 60% від руйнівного навантаження, визначеного за результатами випробування першої балки серії, величини деформацій опорної та прольотної арматури змінювались на першому циклі практично прямо пропорційно до навантаження. Такі ж закономірності справедливі і для зміни величин деформацій крайніх стиснутих волокон бетону в опорних і прольотних перерізах, але з більшим проявом пластичних властивостей матеріалу. На другому циклі спостерігалася така ж картина, але максимальні відносні деформації бетону були меншими, ніж на першому циклі внаслідок вибирання залишкових пластичних деформацій. На наступних циклах аж до руйнування спостерігались такі ж тенденції, тобто матеріали працювали практично пружно, що підтверджується також майже повною відсутністю залишкових деформацій при розвантаженні. Іншими словами, відбулася стабілізація значень деформацій. На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відбувалося зближення величин опорних та прольотних деформацій матеріалів і безпосередньо перед руйнуванням пролітні величини переважали відповідні опорні, що свідчить про практично повний перерозподіл зусиль (рис. 3).

В балці **1Б-3** на циклі довантаження до рівня 80% від руйнівного проявилися пластичні властивості бетону і зближення величини деформацій арматури, а при розвантаженні невеликі значення залишкових деформацій матеріалів. Але вже на наступному циклі довантаження відновлюється лінійна залежність між величиною деформацій та навантаженням, а при розвантаженні залишкові деформації матеріалів практично відсутні. І лише на останніх ступенях циклу перед руйнуванням спостерігалось суттєве зближення величин опорних та пролітних величин деформацій бетону та арматури. В момент руйнування величини пролітних деформацій бетону і арматури перевищували відповідні опорні значення.

В балці **1Б-4**, на циклі довантаження зросли максимальні значення деформацій і залишкові величини при розвантаженні, відбулося зближення віток діаграми, а вже на наступному циклі довантаження відбулася стабілізація величин деформацій. На наступному циклі навантаження до попереднього рівня величини деформацій не дуже відрізнялись від отриманих на циклах перед довантаженням, тобто довантаження до рівня розрахункового навантаження несуттєво вплинуло на роботу балки при

навантаженні експлуатаційного рівня. На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відбулося зближення величин деформацій бетону і арматури, що свідчить про перерозподіл зусиль. При цьому величини пролітних деформацій арматури почали переважати опорні.

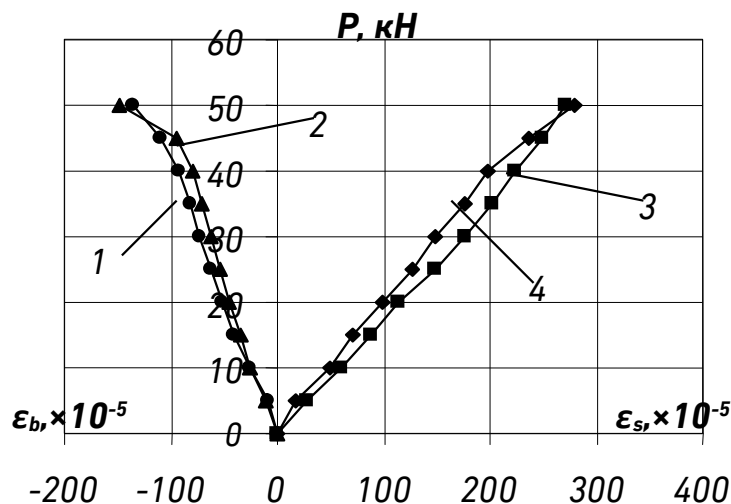


Рис. 3. Зміна деформацій бетону та арматури для циклу руйнування балок першої серії (на прикладі балки 1Б-2):

1 – арматура над опорою; 2 – арматура в прольотах; 3 – бетон над опорою; 4 – бетон в прольотах

Тенденції перерозподілу зусиль добре відобразились і в зміні величин деформацій бетону і арматури балки **2Б-1**. На перших ступенях залежність між величинами деформацій і навантажень була практично лінійною, опорні їх величини перевищували прольотні, а на останніх ступенях навантаження перед руйнуванням відбулося зближення цих значень, що свідчить про перерозподіл зусиль.

Зміна значень деформацій арматури і бетону балки **2Б-2** на першому циклі навантаження була практично лінійно залежною від навантаження. На наступних циклах навантаження відбулася стабілізація деформацій. На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відбулося зближення значень опорних і пролітних деформацій матеріалів і безпосередньо в момент руйнування прольотні величини перевищували опорні, що свідчить про повний перерозподіл зусиль (рис. 4).

Подібні закономірності відобразились і для залежностей величин деформацій бетону і арматури від навантаження для балки **2Б-3**. На циклі довантаження спостерігалось зближення величин деформацій опорної та пролітної арматури, при цьому величини

деформацій бетону змінювались як і на попередніх циклах. Знову виникли залишкові деформації. На наступному циклі довантаження величини деформацій стабілізувались. При руйнуванні значення деформацій пролітної та опорної арматури зблизились, а в роботі бетону збереглися попередні тенденції.

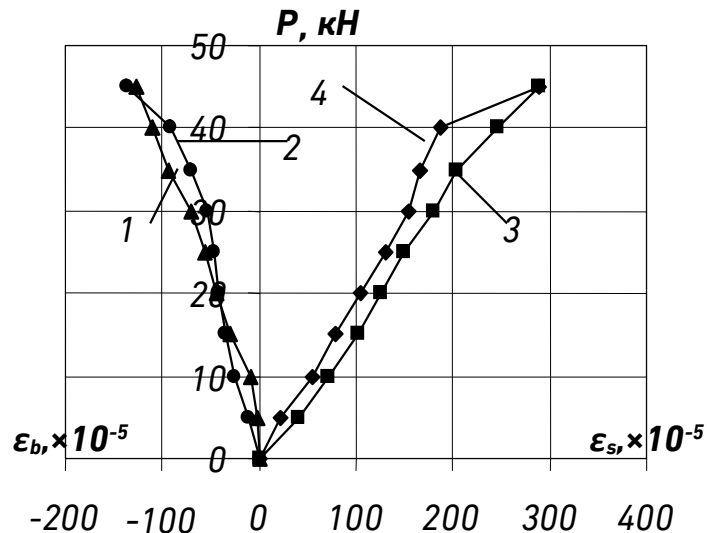


Рис. 4. Зміна деформацій бетону та арматури для циклу руйнування балок другої серії (на прикладі балки 2Б-2):

- 1 – арматура над опорою; 2 – арматура в прольотах; 3 – бетон над опорою;
- 4 – бетон в прольотах

Для балки **2Б-4** при довантаженні відбулося збільшення величин опорних і пролітних деформацій. При навантаженні до попереднього рівня значення деформацій майже не змінились порівняно з циклом перед довантаженням. На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відбувся суттєвий перерозподіл зусиль між опорними та прольотними перерізами.

Значення деформацій бетону і арматури в балці з попередньо напруженими стиками **3Б-1** змінювались дещо по-іншому, ніж у балках без попереднього напруження. На перших ступенях навантаження величини деформацій прольотної арматури від зовнішнього навантаження значно переважали опорні, що є наслідком попереднього напруження надопорної арматури. І лише на останніх ступенях навантаження перед руйнуванням відбувалося зближення значень деформацій опорної та прольотної арматури і в момент руйнування вони майже зрівнялись.

Величини деформацій надопорної арматури на перших ступенях навантаження балки **3Б-2** були значно меншими, ніж пролітної, що зумовлено ефектом попереднього напруження. І лише

при навантаженні 25 кН, коли за візуальними спостереженнями відбулося утворення перших тріщин над опорою, мало місце різке наближення величин деформацій надопорної арматури до пролітних значень, що відображено зломом на діаграмі. До п'ятого циклу навантаження відбулася практично повна стабілізація величини деформацій. На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відбувалось стрімке зближення величин деформацій надопорної та прольотної арматури. Зближення відбулося також і для величин опорних та прольотних деформацій бетону (рис. 5).

Для балки **ЗБ-3** на циклі довантаження відбулося збільшення максимальних величин деформацій на циклі, лінійний характер деформування зберігся, при розвантаженні виникли залишкові деформації. На наступному циклі навантаження до попереднього рівня максимальні величини деформацій несуттєво збільшились порівняно з циклом перед довантаженням, їх залишкові величини практично були відсутні. На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відбувся суттєвий перерозподіл зусиль.

В балці **ЗБ-4** довантаження практично не вплинуло на величини максимальних деформацій на циклі навантаження до попереднього рівня, залишкові деформації були практично відсутні. При повторному довантаженні максимальні величини деформацій на циклі зменшились порівняно з першим довантаженням, особливо для бетону, залишкові деформації майже не виникали. На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відбувалося зближення величин деформацій опорної та прольотної арматури.

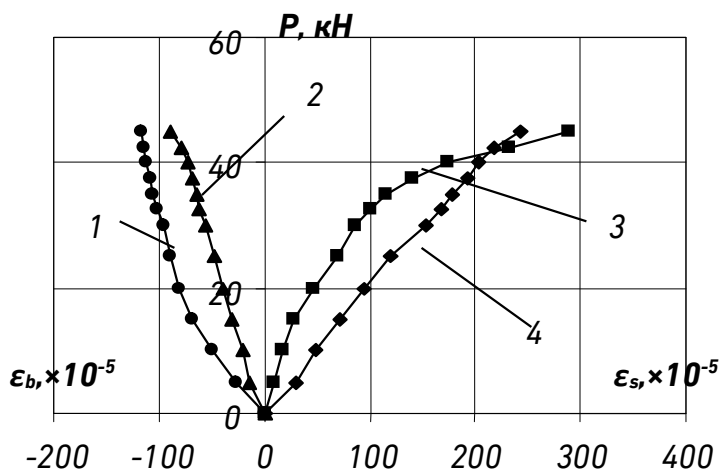


Рис. 5. Зміна деформацій бетону та арматури від зовнішнього навантаження для циклу руйнування балок третьої серії (на прикладі балки ЗБ-2):

- 1 – арматура над опорою; 2 – арматура в прольотах; 3 – бетон над опорою;
4 – бетон в прольотах

Висновки. 1. При повторних малоциклових навантаженнях експлуатаційного рівня на п'ятому-шостому циклах відбувається стабілізація напружено-деформованого стану збірно-монолітних нерозрізних залізобетонних балок. 2. Довантаження понад експлуатаційний рівень суттєво збільшує деформації арматури і бетону. 4. Попереднє напруження арматури стиків зменшує деформації надпорної арматури, і практично не змінює величину деформацій бетону та пролітної арматури.

1. Гнідець Б. Г. Стики з напружуваною арматурою і регулюванням зусиль в збірно-монолітних нерозрізних балкових і рамних мостах. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : наук.-техн. зб. Київ, 2004. Вип. 69. С. 48–53. 2. Бабич Є. М., Крусь Ю. О. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень : монографія. Рівне : РДТУ, 1999. 119 с. 3. Гнідець Б. Г. Збірно-монолітні залізобетонні конструкції. Проектування, дослідження і впровадження в будівництво. Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2007. 260 с. 4. Гнідець Б. Г. Дослідження і застосування збірно-монолітних конструкцій громадських будинків. *Вісник НУ «Львівська політехніка»* : зб. наук. пр. Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2007. С. 18–26. 5. Савицький В. В. Експериментальні дослідження роботи збірно-монолітних нерозрізних залізобетонних балок при дії повторних навантажень. *Будівельні конструкції* : зб. наук. праць. К. : НДІБК, 2003. С. 90–96.

REFERENCES:

1. Hnidets B. H. Styky z napruzhuvanoiu armaturoiu i rehuliuvanniam zusyl v zbirno-monolitnykh nerozriznykh balkovykh i ramnykh mostakh. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo* : nauk.-tekhn. zb. Kyiv, 2004. Vyp. 69. S. 48–53. 2. Babych Ye. M., Krus Yu. O. Betonni ta zalizobetonni elementy v umovakh malotsyklovykh navantazhen : monohrafiia. Rivne : RDTU, 1999. 119 s. 3. Hnidets B. H. Zbirno-monolitni zalizobetonni konstruktsii. Proektuvannia, doslidzhennia i vprovadzhenia v budivnytstvo. Lviv : Vyd-vo NU «Lvivska politekhnik», 2007. 260 s. 4. Hnidets B. H. Doslidzhennia i zastosuvannia zbirno-monolitnykh konstruktsii hromadskykh budynkiv. *Visnyk NU «Lvivska politekhnik»* : zb. nauk. pr. Lviv : Vyd-vo NU «Lvivska politekhnik», 2007. S. 18–26. 5. Savytskyi V. V. Eksperymentalni doslidzhennia roboty zbirno-monolitnykh nerozriznykh zalizobetonnykh balok pry dii povtornykh navantazhen. *Budivelni konstruktsii* : zb. nauk. prats. K. : NDIBK, 2003. S. 90–96.



Savytskyi V. V. [1; ORCID ID: 0000-0001-8807-9486],
Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Savytska O. V. [1; ORCID ID: 0000-0002-5806-7473],
Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE STRESS-STRAIN STATE OF PRECAST-MONOLITHIC NON-DISTINCTIVE REINFORCED CONCRETE BEAMS UNDER REPEATED LOADS

Reinforced concrete continuous precast–monolithic beams are widely used as crossbars in flat slabs and roof systems of industrial and civil buildings, special engineering structures, ribbed vaulted and dome floors subjected to heavy loads, underground structures, and multi-span crane beams. Floors of industrial, public, and residential buildings, as well as special structures incorporating precast–monolithic continuous reinforced concrete beams, are in most cases subjected to low-cycle repeated temporary loads, which may be classified as repeated long-term and repeated short-term loads. The deflections of continuous reinforced concrete beams with unstressed and prestressed reinforcement when changing the distribution of supporting and span reinforcement within 0.4–3 in the operational stages of work change insignificantly (up to 15%). After the acting moments reach a value approximately equal to 75–80% of their limit values, the graphs of experimental moments begin to tend to the limit values of moments determined by the reinforcement. The calculation of the bearing capacity of precast beams can be performed taking into account the complete redistribution of forces by the method of equalizing moments in the middle span and at intermediate supports. In precast reinforced concrete continuous beams, the adjustment of forces can be performed using the tension of the reinforcement of the joints, the most effective and industrial are joints with straight reinforcement, which are stressed by the electrothermal method. The purpose of the work: to establish the features of the stress-strain state of precast monolithic continuous reinforced concrete beams under the action of repeated (low-cycle) loads. To achieve the goal, the following tasks were set: to establish the features of the stress-strain state of precast-monolithic reinforced concrete beams with joints of different designs under repeated loads; to establish the influence of prestressing of the reinforcement of the beam joints on their stress-strain state. To achieve the goal, three series of experimental studies of the operation of two-span continuous precast-monolithic reinforced concrete beams were performed. It was intended to study the operation of continuous precast-monolithic reinforced concrete beams under low-cycle static loads

of medium and high levels depending on the upper stress level, the presence and type of joint and the number of load cycles. Under repeated low-cycle loads of the operational level, stabilization of the stress-strain state of precast-monolithic continuous reinforced concrete beams occurs in the fifth-sixth cycles. Additional loading above the service level significantly increases the deformations of reinforcement and concrete. Prestressing of joint reinforcement reduces the deformations of supporting reinforcement, and practically does not change the magnitude of the deformations of concrete and span reinforcement.

Keywords: concrete; reinforcement; load; beam; repeated.

Отримано: 05 травня 2025 року
Прорецензовано: 04 червня 2025 року
Прийнято до друку: 16 червня 2025 року